

**С. С. Слезов\*, А. А. Лиджиев, Д. С. Савостин**

ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт  
(национальный исследовательский университет)», г. Москва

\*slezov93@mail.ru

Научный руководитель — проф., д-р техн. наук А. М. Мамонов

## **ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ТЕКСТУРЫ ВЫСОКОМОДУЛЬНОГО ТИТАНОВОГО СПЛАВА ПРИ ГОРЯЧЕЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ**

Проанализированы закономерности формирования фазового состава и структуры опытного высокомодульного титанового сплава Ti–8,7Al–1,5Zr–2,0Mo при легировании водородом до различных концентраций и последующей осадке образцов. Установлено, что водород приводит к снижению предела текучести и напряжений течения сплава при температурах деформации 800 и 850 °С. Показано, что легирование водородом существенно влияет на характер и интенсивность кристаллографической текстуры, формирующейся при горячей пластической деформации.

*Ключевые слова:* титановые сплавы, водород, модуль упругости, сопротивление деформации, текстура, обратная полюсная фигура.

**S. S. Slezov, A. A. Lidzhiev, D. S. Savostin**

## **THE FORMATION, STRUCTURE AND TEXTURE OF HIGH MODULUS TITANIUM ALLOY DURING HOT PLASTIC DEFORMATION**

The regularities of the formation of the phase composition and structure of the experimental high-modulus titanium alloy Ti–8,7Al–1,5Zr–2,0Mo at hydrogen doping to different concentrations and subsequent precipitation of samples are analyzed. It was found that hydrogen leads to a decrease in the yield strength and stresses of the alloy flow at deformation temperatures of 800 and 850 °C. It is shown that hydrogen doping significantly affects the nature and intensity of the crystallographic texture formed during hot plastic deformation.

*Key words:* titanium alloys, hydrogen, elastic modulus, deformation resistance, texture, inverse pole shape.

**В** настоящее время одним из наиболее перспективных материалов, применяемых для изготовления медицинских режущих инструментов, являются титановые сплавы с повышенным содержанием алюминия. За счет высокого содержания алюминия увеличивается мо-

дуль упругости сплава, который является одним из основных критериев жесткости изделия.

Однако сплавы с повышенным содержанием алюминия являются труднодеформируемыми, и повышение их технологической пластичности на стадии получения заготовок инструментов методами горячей штамповки является актуальной научной и практической задачей.

Одной из наиболее перспективных комплексных технологий обработки титановых сплавов с высоким содержанием алюминия является водородная технология, основанная на обратимом легировании водородом.

Цель настоящей работы состояла в исследовании влияния дополнительного легирования водородом на фазовый состав, структуру и текстуру опытного титанового сплава с повышенным содержанием алюминия при горячей деформации.

Исследования проводили на образцах  $\varnothing 10 \times 13$  мм, вырезанных из горячекатаного прутка  $\varnothing 22$  мм.

Химический состав сплава Ti–8,7Al–1,5Zr–2,0Mo следующий:

Al.....8,7	Zr.....1,5	Mo.....2,0	Fe.....0,15	Si.....0,1
O.....0,12	C.....0,01	N.....0,01	H.....0,006	

Образцы предварительно отжигали в вакуумной печи при температуре 950 °С в течение 1 ч. Металлографический и рентгеноструктурный анализы показали, что отжиг формирует квазиглобулярную структуру со средним размером  $\alpha$ -частиц около 5 мкм в  $\beta$ -матрице.

Насыщение образцов водородом проводили в установке Сиверта при температурах 850–750 °С до концентраций 0,3 и 0,6 %.

Влияние водорода на сопротивление деформации высокомодульного опытного титанового сплава изучали при испытаниях на изотермическую осадку образцов в торец при температурах 800 и 850 °С. Анализ результатов испытаний на осадку показал, что водород приводит к снижению предела текучести сплава на 200 и 130 МПа при температурах 800 и 850 °С соответственно. Это связано с увеличением объемной доли более пластичной  $\beta$ -фазы за счет  $\beta$ -стабилизирующего влияния водорода. Процесс деформации контролируется механизмами деформационного упрочнения  $\alpha$ - и  $\beta$ -фаз в сочетании с деформационным разупрочнением (рис. 1). Максимальное деформационное разупрочнение достигается в сплаве с 0,6 % Н при температуре деформации 800 °С. Эволюция структуры образцов с 0,6 % водорода в результате осадки при 800 и 850 °С приведена на рис. 2.

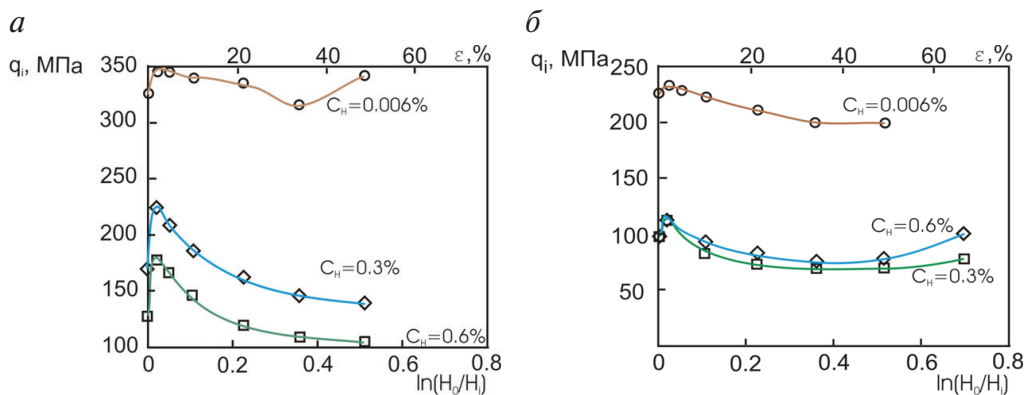


Рис 1. Зависимости удельного усилия осадки ( $q_i$ ) сплава Ti–8,7Al–1,5Zr–2Mo от степени деформации и содержания водорода при температурах: 800 °C (а); 850 °C (б)

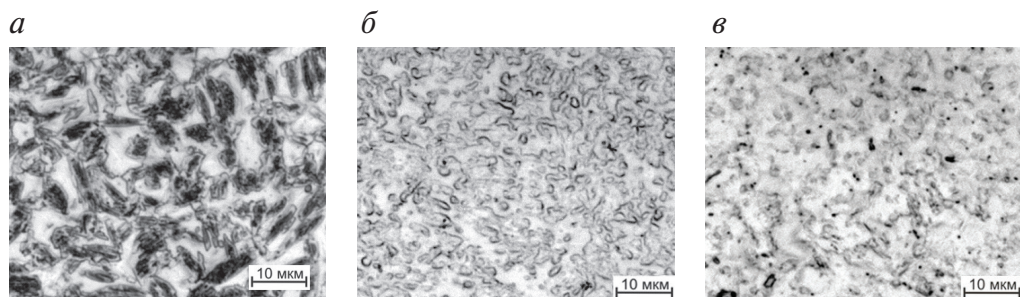


Рис 2. Структура сплава Ti–8,7Al–1,5Zr–2Mo с содержанием водорода 0,6 %:  
а — до осадки; б — после осадки при температуре 800 °C;  
в — после осадки при температуре 850 °C

Текстуры образцов с разным содержанием водорода определяли путем построения обратных полюсных фигур по данным расчета интегральных интенсивностей дифракционных максимумов  $\alpha$ - и  $\beta$ -фаз на рентгеновских дифрактограммах, снятых с плоскости образцов, осажденных при 800 °C (излучение  $\text{CuK}\alpha$ , интервал брэгговских углов  $2\theta = 30\text{--}100^\circ$ ).

В результате проведенных экспериментов и анализа их результатов установлено следующее. В образцах с исходным содержанием водорода после осадки формируется текстура  $\beta$ -фазы с преимущественной ориентировкой кристаллографических плоскостей  $\{001\}$  и  $\{110\}$  параллельно плоскости осажденных образцов. Полюсная плотность этих плоскостей снижается в 1,5–2 раза вследствие снижения интенсивности деформации  $\beta$ -фазы при увеличении ее объемной доли (рис. 3).

Распределение полюсной плотности основных базисных, призматических и пирамидальных плоскостей  $\alpha$ -фазы (типа (001), (100), (110),

(102), (103), (201) достаточно равномерно. В образцах, легированных 0,3 % водорода, существенно (в 2 раза) возрастает доля ориентировок плоскостей базиса (001) и призмы (100) перпендикулярно направлению осадки (и оси исходного прутка). В образцах с 0,6 % Н эта закономерность более выражена для базисных плоскостей (001)  $\alpha$ -фазы и близких к ним плоскостей типа (104).

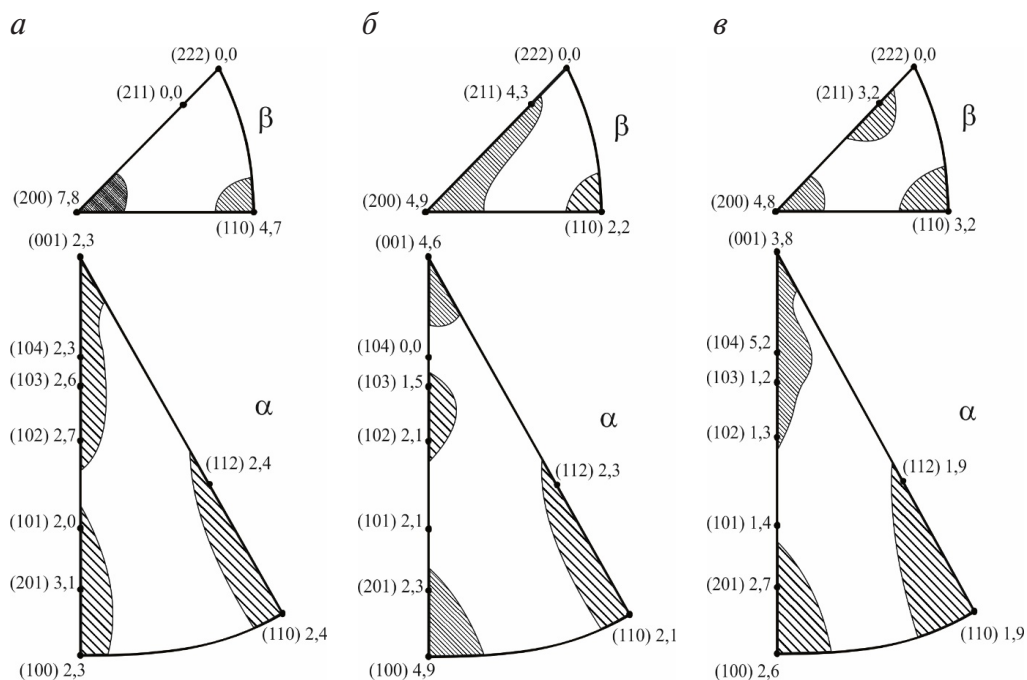


Рис 3. Обратные полюсные фигуры, снятые с плоскости осадки, проведенной при температуре 800 °С, образцов с содержанием водорода, %:  
а — 0,006; б — 0,3; в — 0,6

Полученные результаты свидетельствуют о необходимости продолжения исследований текстуры, формирующейся при других температурах деформации, а также после вакуумного отжига.